Untersuchungen über die spektrale Energieverteilung im Sonnenspektrum von 350 m_μ bis 500m_μ.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Frankfurt a. M.

vorgelegt von

Paul Heß

Trier

1938

Buchdruckerei Richard Mayr, Würzburg.

Referent: Prof. Dr. F. Linke

Correferent: Prof. Dr. Czerni

Tag der mündlichen Prüfung 27. Juni 1938.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546401_0064

Untersuchungen über die spektrale Energieverteilung im Sonnenspektrum von 350 mμ – 500 mμ.

Ein naheliegendes Problem der Strahlungsforschung ist die Kenntnis der Energieverteilung im Sonnenspektrum, also im Spektrum unserer wichtigsten Energiequelle. Erstens bietet die Energiekurve die Möglichkeit, nach dem WIEN'schen Verschiebungsgesetz einen Schluß auf die effektive Temperatur der strahlenden Oberfläche zu ziehen, zweitens beantwortet sie die Frage, inwieweit die aufgrund der so berechneten Oberflächentemperatur nach der PLANCK'schen Formel ermittelte spektrale Verteilungskurve mit der experimentell gefundenen wirklichen Verteilung übereinstimmt oder ob sich eventuelle Abweichungen davon ergeben. Hieraus läßt sich wiederum beurteilen, innerhalb welcher Grenzen wir die Sonnenoberfläche als die eines idealen Schwarzstrahlers behandeln dürfen.

Der einzige Weg zur Ermittlung der spektralen Energieverteilungskurve ist die Beobachtung. Bei allen Messungen und Registrierungen an der Erdoberfläche muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Strahlung, bevor sie überhaupt zur Messung gelangte, einen mehr oder minder weiten Weg durch die Erdatmosphäre zurückgelegt und naturgemäß infolge Extinktion und Absorption eine Abänderung ihres extraterrestrischen Charakters erfahren hat. Als solchen müssen wir die Form einer kontinuierlichen Kurve annehmen mit einem Maximum bei etwa 475 mμ, einem steileren Abfall im Kurzwelligen, einem langsameren im Langwelligen. Wenn sich Abweichungen von dieser theoretisch zu erwartenden Verteilung finden, z. B. in Form von mehr oder weniger breiten Banden, so muß zuerst geklärt werden, ob es sich um extraterrestrische oder atmosphärische Ursachen handelt. Ganz allgemein kann man eine qualitative Entscheidung auf grund folgender Überlegungen treffen: liegen Messungen der spektralen Verteilungskurve für verschiedene durchstrahlte Luftmassen, also bei verschiedenen Sonnenhöhen vor, so müssen sich bei terrestrischem Ursprung die Banden mit zunehmender Luftmasse vertiefen, da die Dicke des absorbierenden Mediums immer weiter zunimmt; bei extraterrestrischer Herkunft dagegen müssen die Banden mit zunehmender Luftmasse flacher werden, weil die zunehmende Luftzerstreuung die Feinstruktur mehr und mehr verwischt. Die Unregelmäßigkeiten atmosphärischen Ursprungs interessieren in erster Linie den Meteorologen, da er hieraus Schlüsse auf die Zusammensetzung der Atmosphäre ziehen kann, während diejenigen extraterrestrischer Herkunft vor allem das Interesse des Astrophysikers finden. Eine quan-

titative Erfassung der Verhältnisse gestattet die Ermittlung der extraterrestrischen Form der Spektralkurve; diese wird durch Anwendung der Bouguer'sch Formel (auch de Baer'sches Gesetz genannt) auf Messungen bei verschiedenen Luftmassen verhältnismäßig einfach gefunden. Wenn im folgenden bedeuten:

M = Luftmasse $= \sec z \frac{b}{760} = \operatorname{cosec} h \left(\frac{760}{b}\right)^{-1}$
(b = Luftdr. in mm Hg am Beobachtungsort)

$i_{o\lambda}$ = gesuchte extraterrestrische Intensität für die Wellenlänge λ,

$i_{M\lambda}$ = bei der Luftmasse M gemessene Intensität für die Wellenlänge λ,

q_λ = Transmissionsfaktor für die Wellenlänge λ (und die Luftmasse 1),

so lautet die Beziehung für eine bestimmte Wellenlänge

$$(1) \qquad i_{M\lambda} = i_{o\lambda} \cdot q_\lambda^M \quad ,$$

oder logarithmiert

$$(1a) \qquad \ln i_{M\lambda} = \ln i_{o\lambda} + M \ln q_\lambda$$

Fassen wir M als unabhängige, $\ln i_{M\lambda}$ als abhängige Veränderliche auf, so stellt (1a) eine gerade Linie dar mit der Steigung $\ln q_\lambda$ und dem Ordinatenabschnitt $\ln i_{M\lambda}$. Liegen also Messungen bei verschiedenen Luftmassen M vor, so brauchen wir nur in einfach-logarithmischem Papier M als Abszisse, das dazugehörige $\ln i_{M\lambda}$ als Ordinate aufzutragen, um als Ordinatenabschnitt (M = O) die extraterrestrische Intensität für die Wellenlänge λ abzulesen. Dieses Verfahren, auf eine genügende Anzahl von Wellenlängen angewandt, ergibt den extraterrestrischen Verlauf der spektralen Energieverteilung der Sonne.

1. Frühere Untersuchungen.

Naturgemäß wurden bereits von verschiedenen Autoren Untersuchungen dieser Art durchgeführt. Während jedoch der ultra-rote und sichtbare Teil des Sonnenspektrums schon in den verschiedensten Richtungen und mit den verschiedensten Fragestellungen bearbeitet wurde, liegen für den kurzwelligen Teil nur verhältnismäßig wenige genauere An-

gaben vor. Dies mag einerseits seinen Grund darin haben, daß für Fragen der Wärmezufuhr von Seiten der Sonne der kurzwellige Spektralbereich von geringerer Bedeutung ist, daß aber auch andererseits seine Durchmessung mit einfachen Mitteln größeren Schwierigkeiten begegnet. Dies ist durch folgendes begründet: Die einzige einwandfreie Methode zur Ermittlung einer differenzierten Energieverteilungskurve besteht in der Anwendung von Monochromatoren, die jeweils einen Spektralbereich bestimmter Breite aussondern. Wegen der Verwendung von Prismensystemen in diesen Monochromatoren hängt die Breite des jeweiligen Bereichs von der Dispersion der Prismen an dieser Stelle ab, und da diese im Kurzwelligen besonders groß ist, wird die Breite der spektral ausgeblendeten Bereiche und somit die in ihnen enthaltene Energie sehr klein. Es müssen somit sehr empfindliche Empfänger benutzt werden, und diese notwendige Empfindlichkeitssteigerung der Anzeigegeräte (Galvanometer, Elektrometer) ist einer der Hauptgründe für die bisher selten vorgenommene Untersuchung des kurzwelligen Spektralbereiches mittels Monochromatoren.

Die bisher vorliegenden Untersuchungen des Gesamtspektrums zeigen, daß der an der Erdoberfläche gemessene Verlauf der spektralen Energieverteilungskurve keineswegs kontinuierlich ist, sondern sowohl im langwelligen, als auch im sichtbaren und kurzwelligen Teil Unregelmäßigkeiten in Form von Absorptionslinien und -banden zeigt. Abgesehen von den Fraunhoferschen Linien, die über das ganze Spektrum, vor allem über den sichtbaren und ultravioletten Bereich verstreut sind, finden wir im Langwelligen die bekannten Wasserdampfbanden, die bereits mehrfach untersucht sind, im Sichtbaren CO_2 —, O_2— und O_3 — Banden. Alle diese Banden sind terrestrischen Ursprungs, also durch Absorptionsvorgänge innerhalb unserer Atmosphäre bedingt. Keineswegs einwandfrei geklärt ist jedoch die Herkunft der Unregelmäßigkeiten im UV. Abgesehen von den starken O_3-Banden im kurzwelligen UV konnte in vorliegender Untersuchung bestätigt werden, daß die wichtigsten Unregelmäßigkeiten der spektralen Verteilungskurve extraterrestrischen Ursprungs sind. Bevor jedoch dieser Nachweis erbracht werden soll, seien ganz kurz die wichtigsten Arbeiten anderer Autoren auf diesem Gebiet genannt.

Zunächst ist C. G. Abbot zu nennen (1, 2, 3), der zwar nicht speziell den kurzwelligen Bereich bearbeitete, vielmehr das gesamte Spektrum von 390 mμ — 2500 mμ, später sogar von 295 mμ — 2500 mμ durchmaß, dabei aber auch einige Angaben über Unregelmäßigkeiten im Gebiet von 300 mμ bis 500 mμ machte. Seine Untersuchungen galten eigentlich der Bestimmung der Solarkonstanten; eine der hierzu verwandten Methoden verlangte die Kenntnis der Energiekurve der extraterrestrischen Sonnenstrahlung. Denn die Integration dieser Kurve, d. h. geometrisch gesprochen der von dieser Kurve eingeschlossene Flächeninhalt mußte ja die Solarkonstante ergeben.

Abbot führte seine Messungen auf dem Mount Wilson (Calif., 1737 m ü. NN) aus. Da seine, von Langley geschaffene, Meßanordnung von prinzipieller Bedeutung für alle folgenden Untersuchungen geworden ist, sei sie kurz geschildert. Über einen Heliostaten gelangt die Sonnenstrahlung in einen „Heliospektrographen" und wird dort spektral zerlegt. Das gesamte Spektrum wandert durch automatische Prismenführung über den Austrittsspalt hinweg. So fällt immer die Energie eines bestimmt breiten Spektralbereichs auf ein hinter dem Spalt aufgestelltes Bolometerband und gelangt auf diese Weise zur Messung. Ein empfindliches Spiegelgalvanometer mit möglichst kurzer Einstellung und photographischer Registrierung liefert dann eine terrestrische Energiekurve für die jeweilig durchstrahlte Luftmasse, nachdem noch die nötigen Korrektionen und Reduktionen angebracht worden sind. (Näheres s. S. 12 ff.). Die Zeitdauer einer solchen Durchmessung des Spektrums (von 390 mμ — 2500 mμ) beträgt etwa 12 Min. Dies wird deshalb hervorgehoben, weil die Dauer einer Registrierung von großer Bedeutung für den Genauigkeitswert ist. Einerseits ist es erwünscht, die Meßdauer möglichst zu verkürzen, damit Sonnenhöhe (Luftmasse) und Trübungsgrad der Atmosphäre als konstant angesehen werden können; andererseits haben Thermosäule und Galvanometer eine gewisse Trägheit, so daß eine bestimmt kurze Einwirkungsdauer des zu messenden Bereiches nicht unterschritten werden darf. Unter Berücksichtigung dieser beiden Überlegungen ergab sich für Abbots Meßanordnung die genannte Registrierdauer als ein Optimum. Das Ergebnis seiner Messungen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Wie wir später erkennen werden, ist diese Kurve sehr geglättet; das hat wohl darin seinen Grund, daß es Abbot gar nicht auf die Untersuchung dieser Unregelmäßigkeiten abgesehen hatte, sondern im Gegenteil diese bei der Berechnung der Solarkonstanten durch eine Schmiegungskurve auszugleichen suchte. Er gibt lediglich an, daß die breite Schwächung im Bereiche 400 mμ — 450 mμ und 500 mμ — 540 mμ durch Häufung vieler starken Absorptionslinien (Fraunhoferlinien) in der Nähe von G (430,8 mμ), b (518,0 mμ) und E (527,0 mμ) bedingt sei. Vergleich und Wertung seiner Ergebnisse gegenüber den Messungen anderer Autoren erfolgt in einem besonderen Abschnitt.

Wesentlich eingehender wurde der Bereich zwischen 292 mμ und 700 mμ von E. Pettit (7) untersucht, der seine Messungen am Wüsten-Observatorium zu Tucson (Arizona, 730 m ü. NN.) ausführte. Seine Anordnung ist im wesentlichen die gleiche wie bei Abbot. Er benutzte zwei hintereinander geschaltete Monochromatoren, so daß der von dem ersten ausgeblendete Bereich nochmals zerlegt wurde und somit von Streulicht befreites, streng monochromatisches Licht zu liefern versprach. Die Zuführung der Sonnenstrahlung erfolgte auch hier durch einen Siderostaten. Für Wellenlängenbereiche ober-

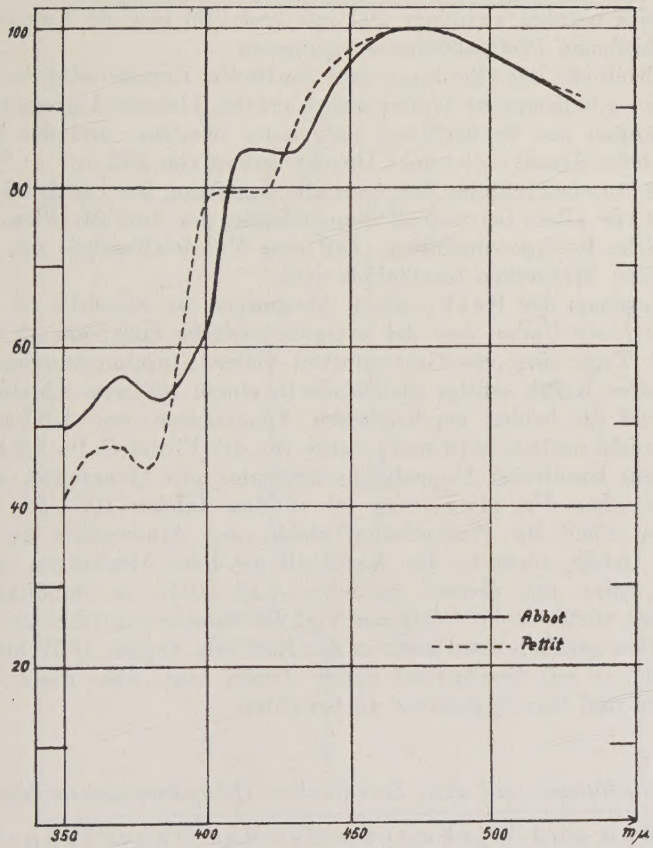

Abb. 1.

Extraterrestrische Energieverteilung nach Abbot (———) und Pettit (- - - - -).

halb von 320 mμ wurde als Empfänger nur eine Thermosäule, für kürzere Wellenlängen neben dieser gleichzeitig eine Photozelle benutzt. (Na-Zelle). Sowohl der Thermo- als auch der Photostrom wurde galvanometrisch gemessen. Im Gegensatz zu Abbot erfolgte aber keine automatische Registrierung des Spektrums; vielmehr wurden die beiden Monochromatoren jeweils auf eine bestimmte Wellenlänge eingestellt, Mittel- und Austrittsspalt so verändert, daß sich eine konstante Dispersion ergab, und schließlich der zugehörige Ausschlag

mittels Fernrohr abgelesen. Der Skalenabstand betrug etwa 8 m. Auf diese Weise wurden zwischen 292 mμ und 700 mμ die Energien an 22 verschiedenen Wellenlängen ausgemessen.

Diese Methode hat allerdings zwei Nachteile. Erstens wird das Spektrum nur an bestimmten Wellenlängen erfaßt, kleinere Unregelmäßigkeiten können der Beobachtung entgehen; zweitens, und das ist das wesentlichere, dauert eine solche Durchmessung von 292 mμ — 700 mμ etwa eine Stunde. In dieser Zeit kann die Änderung der Luftbeschaffenheit, und vor allem bei tiefem Sonnenstande, der durchstrahlten Luftmasse solche Beträge annehmen, daß eine Vergleichbarkeit der Werte der gleichen Meßreihen unmöglich wird.

Das Ergebnis der Pettit'schen Messungen ist ebenfalls in Abb. 1 dargestellt; wir finden dort das extraterrestrische Spektrum als Mittel mehrerer Tage, also ein Gesamtmittel vieler Einzelmessungen. Eine eingehendere Kritik erfolgt gleichfalls in einem späteren Abschnitt.

Während die beiden beschriebenen Apparaturen von Abbot und Pettit recht umfangreich sind, wurde von der Firma C. Leiß-Berlin-Steglitz ein handlicher Doppelmonochromator mit Quarzoptik gebaut, mit dem schon Fr. Herzing (4) in den Jahren 1935/36 Untersuchungen über die Wasserdampfbanden der Atmosphäre im langwelligen Gebiet anstellte. Im Anschluß an diese Messungen lag der Gedanke nahe, mit diesem einfachen und leicht zu handhabenden Instrument auch den kurzwelligen Teil des Sonnenspektrums zu untersuchen. Dies geschah denn auch in der Zeit von August 1937 bis März 1938, und es soll Gegenstand dieser Arbeit sein, über diese Untersuchungen und ihre Ergebnisse zu berichten.

2. *Untersuchungen mit dem Leiß'schen Quarzdoppelmonochromator.*

a) Bau und Wirkungsweise des Quarzdoppelmonochromators.

Da eine eingehende Darstellung von Bau und Wirkungsweise des Leiß'schen Quarzdoppelmonochromators bereits von Herzing (4) gegeben wurde, genügt es an dieser Stelle, das Wesentliche kurz zu wiederholen.

Der Strahlengang des Monochromators, der mit einer vollständigen Quarzoptik ausgerüstet ist, geht aus Abb. 2 hervor.

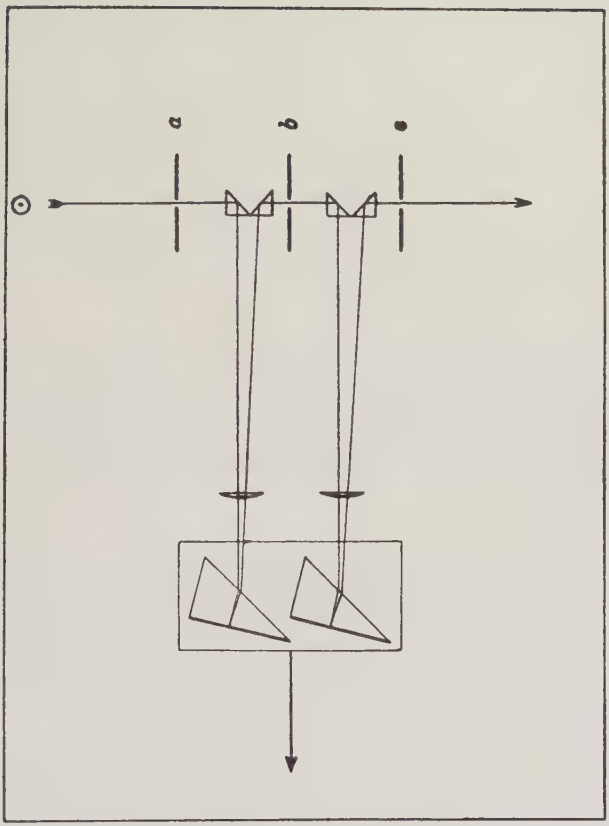

Abb. 2. Strahlengang des Quarzdoppelmonochromators.

Die drei Spalte a, b, c sind veränderlich, wurden jedoch während sämtlicher Meßreihen konstant gehalten, und zwar betrugen die Weiten: Eintrittsspalt a 0,3 mm, Mittelspalt b 0,2 mm und Austrittsspalt c 0,1 mm. Durch letzteren tritt das monochromatische Licht aus und fällt auf eine (lineare) M o l l'sche Thermosäule. Der entstehende Thermostrom wird von einem hochempfindlichen großen Moll-Galvanometer gemessen und auf einer schnell rotierenden Photopapiertrommel registriert. Ein Uhrwerk verschiebt den Schlitten, der die Prismenanordnung trägt, in der eingezeichneten Bewegungsrichtung und bewirkt damit, daß das gesamte Spektrum über den Austrittsspalt c hinwegwandert. Mit der Bewegung des Schlittens ist die Drehung einer Walze verbunden (Schneckenmechanismus), in die für bestimmte Wellen-

längen (von 300—400 mμ für je 5 mμ, von 400—500 mμ für je 10 mμ u. s. w.) Kerben eingelassen sind. Ein Taster, der über diese Kerben hingleitet, läßt jeweils durch Stromschluß eine Glühlampe aufleuchten, die auf der Registrierung den Wellenlängenkontakt als feine dunkle Linie wiedergibt. (Vergl. Abb. 8). Das Stativ eines parallaktisch aufgestellten Fernrohrs und eine Uhrwerknachführung sorgen dafür, daß der Monochromator ständig auf die Sonne gerichtet bleibt. Erwähnt sei noch, daß eine vor den Eintrittsspalt gesetzte Zylinderlinse die Sonne strichförmig auf diesen Spalt abbildet und die auf diese Weise gesammelte Energie eine Vergrößerung der Ausschläge bedingt.

b) Auswertung der Registrierungen.

Die so gelieferten Registrierungen sind nun noch nicht unmittelbar für die Auswertung der wirklichen Energieverteilung verwendbar, sie müssen vielmehr vorerst noch einigen Korrektionen bezw. Reduktionen unterzogen werden. Zu diesem Zwecke sind vor den eigentlichen Untersuchungen noch folgende Eigenschaften des Monochromators zu bestimmen:

1. Korrektur der Wellenlängenkontakte: es muß nachgeprüft werden, ob die angegebene Lage einer Wellenlänge mit der wirklichen Lage übereinstimmt.
2. Transmissionsfaktor der Monochromatoroptik: es muß qualitativ und quantitativ untersucht werden, ob die Durchlässigkeit für verschiedene Wellenlängen die gleiche ist oder nicht,
3. Reduktionsfaktor auf gleiche spektrale Breite: wegen der Dispersion der Prismen hängt bei konstanter Weite des Austrittsspaltes die Breite des ausgeblendeten Bereiches von seiner Lage im Spektrum ab. Zu Vergleichszwecken müssen dann alle Energiemessungen auf gleiche spektrale Breiten bezogen werden, was durch Multiplikation mit einem Reduktionsfaktor geschieht,
4. Wahre Breite des Spektralbereiches für jede Wellenlänge.

Die Bestimmungen von 1. und 2. wurden im Laboratorium mit Hilfe einer UV-Normallampe nach Rüttenauer und Kam., die vom Strahlungsforschungsinstitut der Universität Berlin geeicht war, vorgenommen. Es handelt sich bei dieser um eine Hg-Hochdrucklampe mit abgewogener Hg-Menge, die bei einer Gleichspannung von 220 Volt mit einer Stromstärke von 1,92 Amp. brannte und ein geeichtes Energiespektrum aussandte; die Genauigkeit der Angaben beträgt 1,5—2,0%. Dieses Spektrum wurde von dem Monochromator, an den in diesem Fall ein hochempfindliches Zernicke-Galvanometer (Stromempfindlichkeit $1{,}24 \times 10^{-10}$ Amp./mm Ausschlag und 1 m Skalenabstand) angeschlossen war, in der gewohnten Weise registriert. Eine

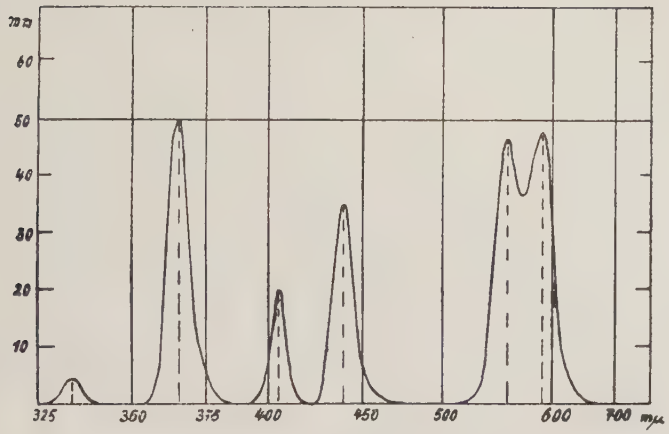

Abb. 3. Registrierung des Hg-Spektrums der Normallampe.

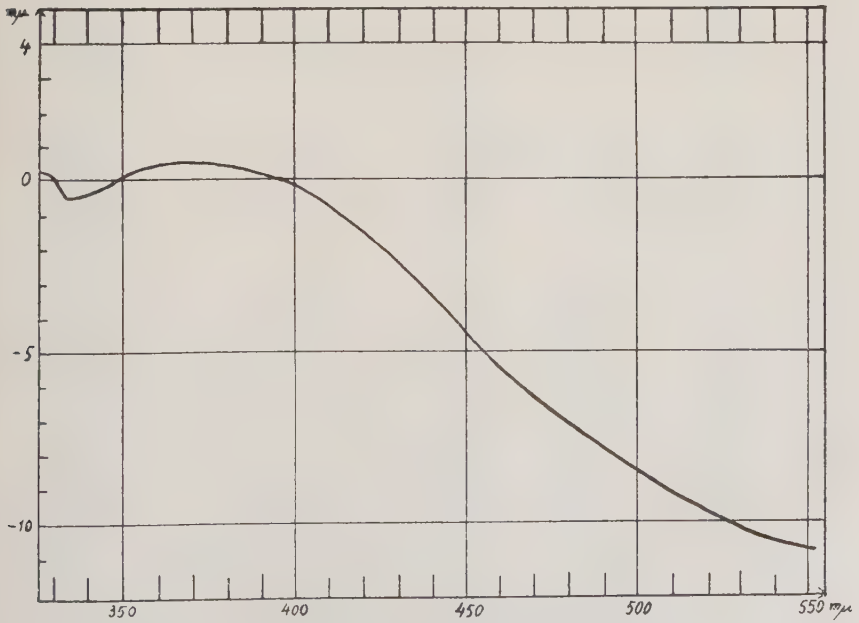

Abb. 4. Korrektionskurve der Wellenlängenkontakte.

solche Registrierung ist in Abb. 3 wiedergegeben. Daß die einzelnen Linien nicht schärfer als solche abgebildet werden, liegt einerseits in der endlichen Breite des Austrittsspaltes begründet, andererseits spielen auch Galvanometerträgheit und Streuung innerhalb der Optik eine gewisse Rolle. Immerhin kann man das Maximum des Ausschlags als Lage der Linie ansehen, so daß eine Korrektur der Wellenlängenkontakte vorgenommen werden kann, wie in der Kurve der Abb. 4 dargestellt ist. Sodann wurden die Ausschläge, die der durchgelassenen Energie der betreffenden Linie entsprachen, mit den wirklichen Energiewerten, wie sie von der Lampe geliefert werden, verglichen. Dabei wurden sowohl die Energien der einzelnen Linien als auch die dazugehörigen gemessenen Ausschläge auf das Triplett 365,0/366,3 mμ bezogen und diesem der Wert 100 zugelegt. Hiernach kann die Durchlässigkeit des Monochromators von 350 mμ bis 550 mμ mit genügender Genauigkeit ($\pm$ 2%) als konstant angesehen werden. In Abb. 5, die die Ergebnisse prozentual wiedergibt, bedeuten die Zahlen den Wert des Quotienten: ausgesandte Energie/registrierte Energie.

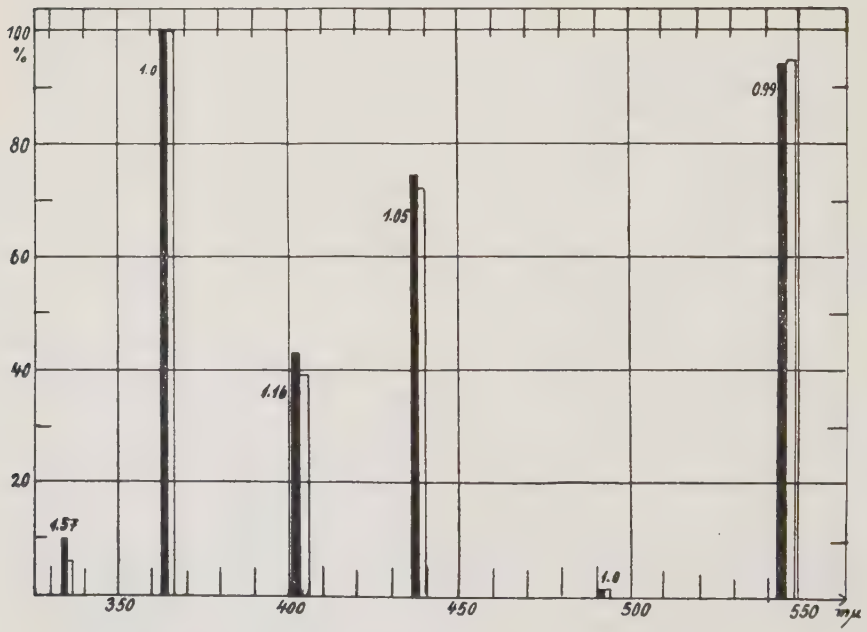

Abb. 5 Prozentuale Durchlässigkeit des Monochromators (bezogen auf 365,0/366,3 mμ); schwarz: Lampe, weiß: Registrierung.

Die Bestimmung des Reduktionsfaktors auf gleiche spektrale Breite wurde auf grund folgender Überlegungen vorgenommen: Wie bereits erwähnt, hängt die Breite des auf die Thermosäule fallenden Bereiches und somit auch die Größe des zugehörigen Ausschlags von der Lage des Bereiches im Spektrum ab, und zwar sind beide der Dispersion an dieser Stelle umgekehrt proportional. Es sind somit nur die Ausschläge mit der zugehörigen Dispersion der Monochromatorprismen zu multiplizieren, um sämtliche Bereiche auf gleiche Spektralbreite umzurechnen. So gibt uns die Darstellung der Dispersionskurve, die nach der Herzing'schen Methodik (s. d.) gewonnen wurde, gleichzeitig die verschiedenen Werte des Reduktionsfaktors K_λ (Abb. 6).

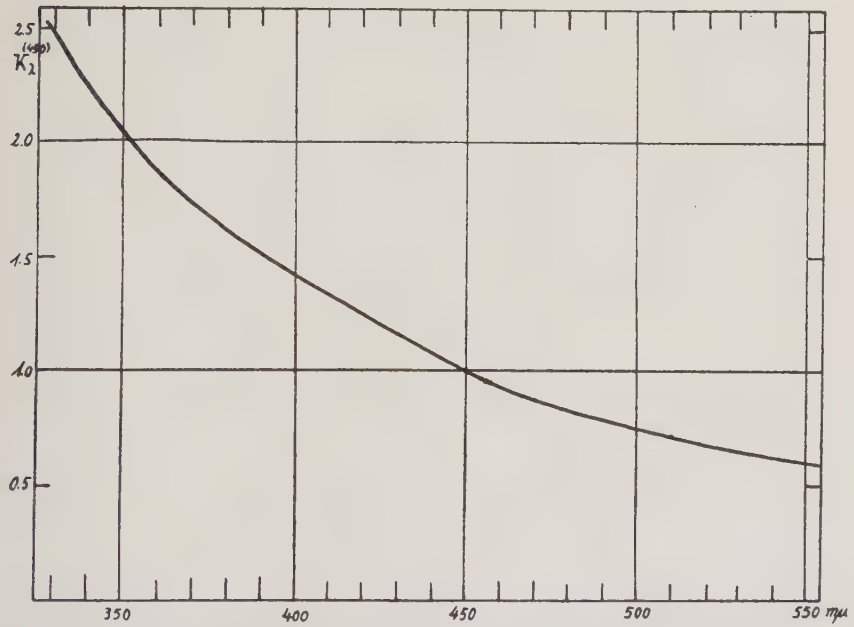

Abb. 6. Reduktionsfaktor auf gleiche spektrale Breite. Hierbei wurde die Dispersion für 450 mμ willkürlich gleich 1 gesetzt und alle andere Werte hierauf bezogen ($K_\lambda^{(450)}$).

Die wahre Breite des jeweils durch den Austrittsspalt konstanter Weite austretenden Spektralbereiches ist der Dispersion umgekehrt proportional: ist diese groß, so ist die wahre Breite gering und umgekehrt. Ist nur an einer einzigen Stelle des Spektrums die wahre Breite bekannt, so können durch Division derselben durch die Dispersion

an den verschiedenen Stellen die dort auftretenden wahren Spektralbreiten errechnet werden; wie Herzing bereits eingehend auseinandersetzte, kann man aus der Form der Registrierung einer Hg-Linie die wahre Breite an dieser Stelle ermitteln. So ergab sich für das Triplett 365,0/366,3 mμ eine Breite von etwa 5,5 mμ. Dies entspricht bei 450,0 mμ einer Breite von 9.9 mμ, und aus der Beziehung

$$\delta_\lambda = \frac{9.9}{K_\lambda^{(450)}}$$

folgte die Darstellung der wahren spektralen Breiten in Abb. 7.

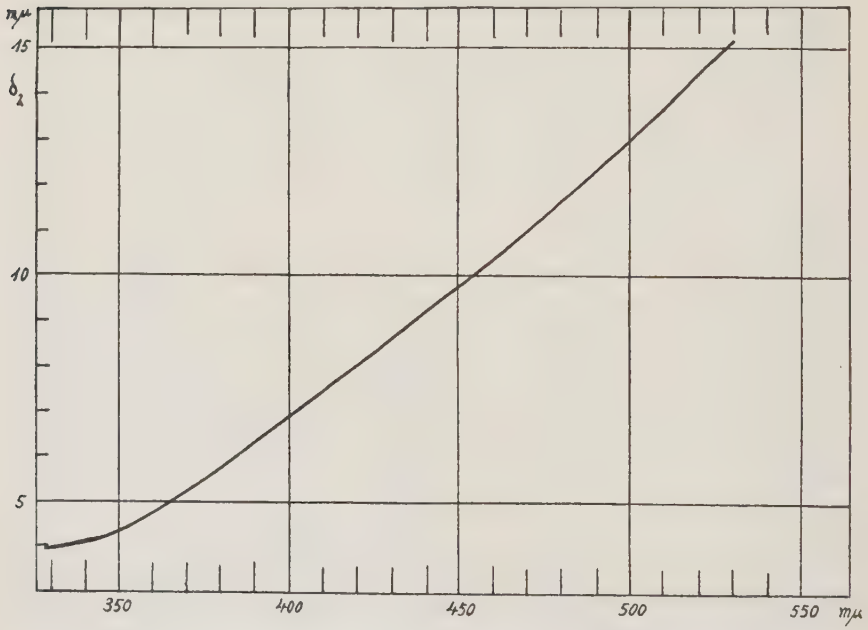

Abb. 7. Wahre spektrale Breiten in Abhängigkeit von den Wellenlängen.

Aber auch nachdem die oben genannten Korrektionen und Reduktionen an den Registrierungen angebracht sind, geben diese den genauen Verlauf der spektralen Energieverteilung nur bis zu einem gewissen Grade wieder: da ja immer nur ein endlicher Bereich zur Messung durch die Thermosäule gelangt und nicht ein theoretisch zu fordernder unendlich schmaler Teil des Spektrums, erscheint grundsätzlich

jede Monochromatorregistrierung mehr oder weniger geglättet. Diese Glättung ist umso größer, je weiter der Spektralbereich, d. h. (für ein bestimmtes Spektralgebiet) der Ausstrittsspalt ist. Somit ist die Verfeinerung der Registrierungen identisch mit einer Verengerung des Austrittsspaltes. Da aber dadurch die mit der Thermosäule zur Messung gelangende Energie immer geringer wird, ist dieser Verengerung eine praktische Grenze gesetzt; es muß deshalb ein Optimum gefunden werden zwischen Auflösungsvermögen (d. h. Spaltverengerung) und Größe des Galvanometerausschlags, und das ist für die geschilderte Meßanordnung bei einer Weite des Austrittsspaltes von 0,1 mm der Fall.

Einer der Hauptvorzüge der Messungen mit dem benutzten Quarzdoppelmonochromator ist der, daß es durch die automatische Registrierung ermöglicht wurde, das zu untersuchende Spektrum in relativ sehr kurzer Zeit zu durchmessen. Wie bereits auf S. 2 erwähnt, muß auch hier ein Optimum gefunden werden, da einerseits Schwankungen der äußeren Versuchsbedingungen, andererseits Trägheit von Thermosäule und Galvanometer zu berücksichtigen sind. Es erwies sich im vorliegenden Falle für das Gebiet von 330 mμ — 530 mμ eine Registrierdauer von etwa 3 Min. als am günstigsten. Denn diese Zeit reichte einerseits zur Einstellung der Meßinstrumente aus, andererseits konnten in diesem kurzen Zeitraum Schwankungen der atmosphärischen Bedingungen und Änderungen der Sonnenhöhe (vor allem bei hohem Sonnenstande) vernachlässigt werden.

Nach all diesen Überlegungen und der genauen Kenntnis der Eigenschaften des Monochromators konnte mit den eigentlichen Registrierungen des kurzwelligen Spektralbereiches von 330 mμ — 530 mμ begonnen werden.

c) Meßergebnisse.

Die dieser Bearbeitung zugrunde liegenden Messungen wurden am Taunus-Observatorium auf dem Kleinen Feldberg (801 m ü. NN.) vorgenommen. An günstigen Strahlungstagen (s. u.) wurden Messungen bei verschiedenen Sonnenhöhen ausgeführt. Da bei der oben beschriebenen Extrapolation die Lufttrübung als konstant angesehen werden muß, konnten nur solche Tage als „günstig" bezeichnet werden, an denen der Trübungsgrad für die einzelnen Registrierungen annähernd gleich blieb. Als Maß für diesen Trübungsgrad der Atmosphäre wurde der Linke'sche Trübungsfaktor T benutzt, der auf folgende Weise gefunden wird:

Strahlungsmessungen zu verschiedenen Zeiten haben ergeben, daß in der Bouguer'schen Formel für die Gesamtstrahlung

$$(2) \qquad J_M = J_o \, e^{-A_M \cdot M}$$

der Gesamtextinktionskoeffizient A_M nicht konstant ist, sondern vom Trübungsgrad der Atmosphäre abhängt. Aus diesem Grunde zerlegt Linke diesen Faktor A_M in zwei Teile, den konstanten Rayleigh'schen Extinktionskoeffizienten a_M und den je nach der Luftbeschaffenheit veränderlichen Trübungsfaktor T. Dadurch erhält das Bouguer'sche Gesetz die Form

$$(3) \qquad J_{MT} = J_o \, e^{-a_M TM}$$

Fassen wir im Exponenten der e-Funktion die beiden Faktoren T und M zusammen, so können wir sagen: der Trübungsfaktor T gibt an, daß die gegebene Atmosphäre eine Strahlungsschwächung zeigt, wie eine T-fache absolut reine Atmosphäre, in der nur Rayleigh'sche Extinktion herrscht; durch Logarithmieren der Gleichung (3) erhält man einen Ausdruck für die Bestimmung von T:

$$(3a) \qquad \ln \frac{J_M}{J_o} = -a_M \cdot T : M \,,$$

$$T = \frac{1}{M \cdot a_M} \ln \frac{J_o}{J_{TM}} \,,$$

oder in Brigg'schen Logarithmen

$$T = \frac{\text{mod}}{M \cdot a_M} \log \frac{J_o}{JTM} = P_M \log \frac{J_o}{J_{TM}}$$

Der Faktor P_M kann für jede Luftmasse M tabellarisch erfaßt werden, J_o ist gleich der Solarkonstanten = 1.90 cal/cm² min und J_{MT} ist die mit einem Aktinometer (Universalaktinometer von Linke) gemessene Strahlungsintensität. Man kann auch den Trübungsfaktor für bestimmte Spektralbereiche ermitteln, in unserem Falle z. B. für den kurzwelligen Bereich unterhalb 635 mμ, wenn man nur an Stelle von J_o die Teilintensität J_{oK} und für J_{MT} die Teilintensität J_{MTK} setzt; erstere ist als Konstante bekannt, letztere ermittelt man als Differenz von Gesamt- minus Rotstrahlung, wie sie vom Filter RG 2 durchgelassen wird. An Stelle des Faktors P_M tritt der ebenfalls tabulierte Faktor P_K.

$$T_K = P_K \log \frac{J_{oK}}{J_{TMK}}$$

Auf diese Weise wurde während jeder Messung eine Bestimmung des Trübungsfaktors vorgenommen. Nur diejenigen Tage konnten zur Ermittlung der extraterrestrischen Verteilungskurve herangezogen werden, an denen der Trübungsfaktor einigermaßen konstant befunden wurde. Solch günstige Tage sind, vor allem in den tieferen Mittelgebirgslagen, naturgemäß nicht häufig, da die mittägliche Konvektion eines Strahlungstages starke Schwankungen der Lufttrübung mit sich bringt. Am besten erwiesen sich stets Wetterlagen, an denen der Beobachtungsort oberhalb einer Abgleitinversion lag, sodaß Konvektion und Turbulenz unterbunden waren. Im Februar und März 1938 standen mehrere solche Tage zur Verfügung. Im Sommer und Herbst 1937 dagegen waren die meteorologischen Bedingungen nicht immer so günstig. Die Gesamtzahl aller brauchbaren Registrierungen beläuft sich auf etwa 120, von denen jeweils die besten zur Extrapolation herangezogen wurden.

Die Abb. 8 zeigt die Wiedergabe einer einzelnen Registrierung, wie sie der Monochromator liefert; sie ist also noch prismatisch verzerrt. Zur Auswertung wurden die Ordinaten der so erhaltenen Energiekurve zunächst an den Stellen der Wellenlängenkontakte, dann aber auch an einzelnen markanten Punkten (mit einer Genauigkeit von 0,1 mm) ausgemessen, mit dem Reduktionsfaktor auf gleiche spektrale Breite multipliziert und den korrigierten Wellenlängen zugeordnet. Die Genauigkeit der Wellenlängenbestimmung ist wegen

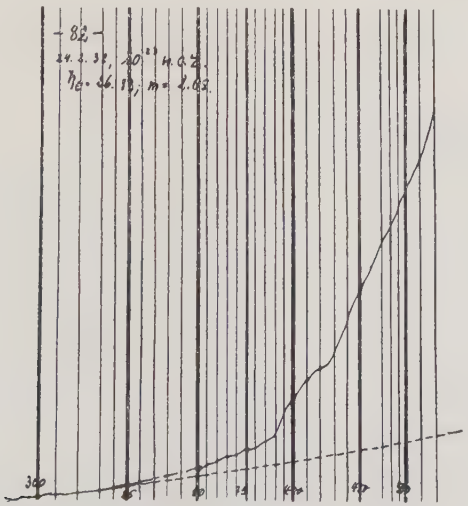

Abb. 8. Registrierung vom 24. 2. 1938.

der Dispersion im UV größer als im langwelligeren Bereich (etwa 0,5 mμ gegenüber 1,5 mμ), während es für die Auswertung der zugehörigen Ausschläge, die mit wachsenden Wellenlängen zunehmen, umgekehrt ist. So ergab sich eine entzerrte und korrigierte Energieverteilungskurve. Endlich wurden die brauchbaren Registrierungen ein und desselben Tages zusammen aufgetragen (Abb. 9).

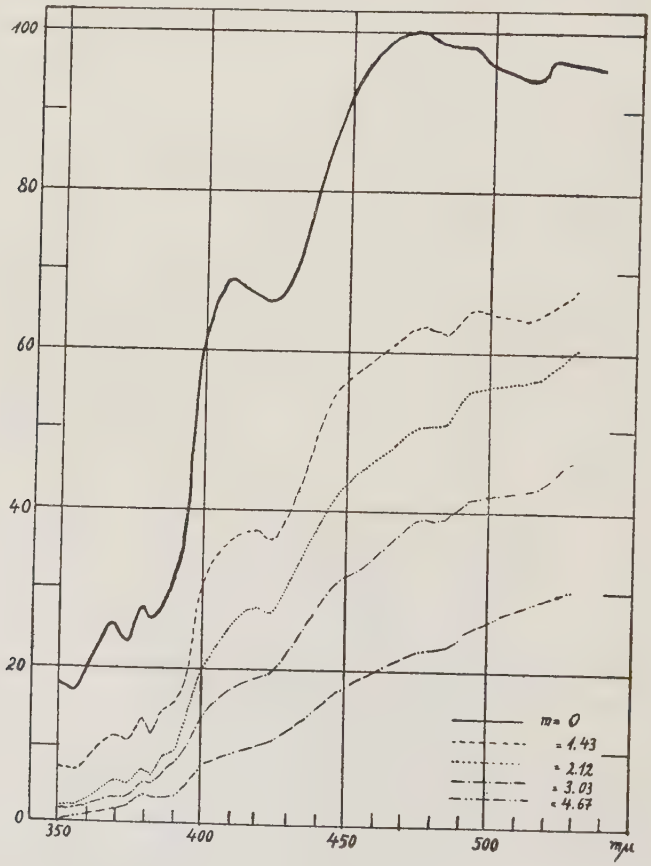

Abb. 9. Energiekurven vom 19. 5. 1938 bei verschiedenen Luftmassen (Sonnenhöhen).

Sie zeigen keineswegs einen kontinuierlichen Verlauf, sondern weisen ausnahmslos mehr oder weniger tiefe Einbuchtungen auf, die wir vorläufig ihrer Form und der Kürze halber als „Banden“ bezeichnen wollen. Folgende bandenartigen Abweichungen von einem kontinuier-

lichen Verlauf fanden sich in sämtlichen Registrierungen (angegeben durch die Lage ihrer Tiefstwerte. Als solche werden diejenigen Stellen der registrierten Kurve bezeichnet, die den größten (vertikalen) Abstand von einer kontinuierlich gedachten Schmiegungskurve aufweisen):

Bei 356 mμ
373 „
381 „
391 „
423 „
516 „

Bereits aus der Darstellung in Abb. 9 erkennt man, gemäß dem auf S. 5 genannten Kriterium, die extraterrestrische Herkunft dieser „Banden": mit zunehmender Luftmasse nimmt sowohl die Tiefe als auch die Schärfe der Bandenform ab. Zur quantitativen Erfassung wurde dann nach der ebenfalls eingangs erwähnten Methode (s. S. 6 f.) die Form der extraterrestrischen Energieverteilung ermittelt, und zwar mit einer Genauigkeit von etwa 5%.

Die Abb. 10 (S. 22) zeigt das Mittel sämtlicher extraterrestrischer Energiekurven, sowie die Einzelmittel für die Sommer- bezw. Winterregistrierungen. Die Ordinate trägt relative Einheiten, die sich daraus ergaben, daß die Intensität im Bereiche des Maximums gleich 100 gesetzt wurde. Abgesehen von den Gebieten an der kurzwelligen und an der langwelligen Grenze des untersuchten Bereichs kann die Übereinstimmung als recht gut angesehen werden; man darf folglich darin einen Beweis für die Realität der hiermit nachgewiesenen „Banden" erblicken. Eine weitere Bestätigung bringt der Vergleich dieser Ergebnisse mit denen von Abbot und Pettit; aus diesem Grunde sind die von ihnen ermittelten Energieverteilungskurven ebenfalls in Abb. 10 eingezeichnet, und zwar in der Weise, daß auch hier die Energie im Bereiche des Maximums bei 475 mμ gleich 100 gesetzt wurde (Vergl. auch Abb. 1). Wenn auch die Verteilungskurve der vorliegenden Untersuchungen aus den auf S. 16 genannten Gründen nicht alle Einzelheiten wahrheitsgetreu wiedergibt, so kann man doch feststellen, daß sie mehr Einzelheiten enthält als die von Abbot und Pettit gefundenen Kurven. Die Gründe hierfür wurden auch bereits bei der Behandlung der Methodik der einzelnen Autoren genannt: Abbot verfolgte mit seinen Messungen einen ganz anderen Zweck, (mit Ausnahme einer Untersuchung aus den Jahren 1920/22, die sich auf die Form des extraterrestrischen Spektrums erstreckt (2)) und glättete deshalb seine Kurven absichtlich, während Pettit mit seiner differentiellen Methode naturgemäß nicht alle Unregelmäßigkeiten erfassen konnte.

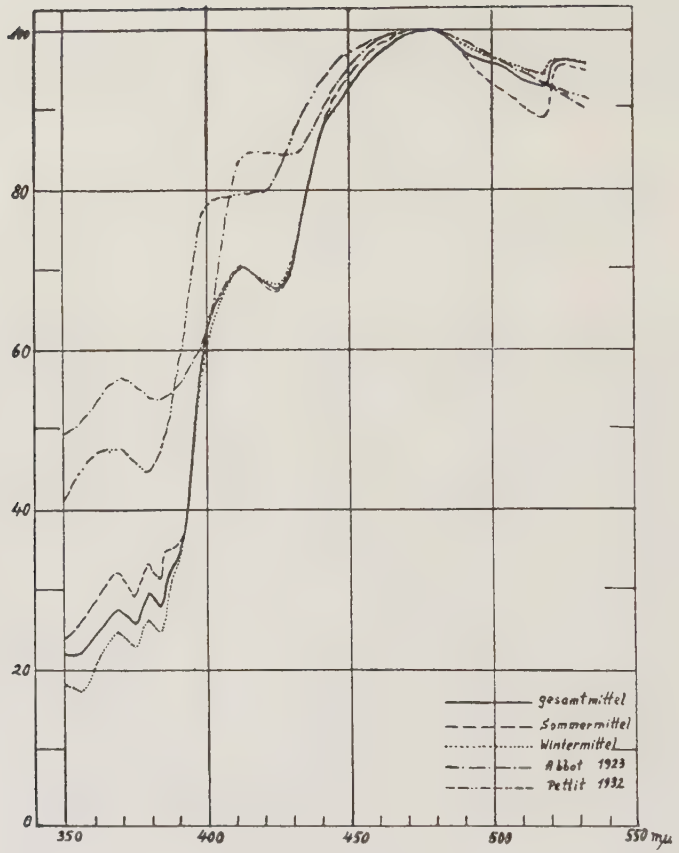

Abb. 10. Mittelkurven der extraterrestrischen Energieverteilung, verglichen mit denen von Abbot und Pettit.

Übereinstimmend werden die beiden stärksten „Banden" bei 381 mμ und bei 423 mμ wiedergegeben. Allerdings stimmt die Lage der Tiefstpunkte nicht genau mit unserer überein, und auch die relative Tiefe der „Banden" ist nicht die gleiche. Bei 381 mμ stimmt die Petitt'sche, bei 423 mμ die Abbot'sche Kurve besser mit den vorliegenden Untersuchungen überein. Die kleineren Abweichungen vom kontinuierlichen Verlauf sind weder bei Abbot noch bei Pettit zu finden, müssen aber trotzdem wegen ihres regelmäßigen Auftretens in sämtlichen Registrierungen und Extrapolationen als reell angesehen wer-

den. Auffallend und keineswegs geklärt ist die große Abweichung aller Kurven im UV. In der dargestellten Form, in der die Maximalausschläge einander gleich gesetzt sind, wird dies besonders deutlich. Eine allerdings nur scheinbar bessere Übereinstimmung ließe sich vielleicht erreichen, wenn man als Bezugswert der vergleichenden Darstellung einen anderen Energiebereich zugrunde legte. Da jedoch in den vorliegenden Untersuchungen keine Absolutmessungen vorgenommen wurden, eine einwandfreie Angabe der Absolutenergie somit nicht erfolgen kann, wurde auf den Versuch einer andersartigen Einpassung der Kurven verzichtet. Was jedoch auch ohne absolute Messungen festgestellt werden kann ist die Tatsache, daß der prozentuale Gehalt an UV. bei Abbot und Pettit größer ist. Abbot gibt ja auch selbst an, daß die UV.-Werte der wahren extraterrestrischen Energieverteilungskurve tiefer liegen als aus seinen Darstellungen hervorgeht. Es ist zu bemerken, daß auch zwischen den Abbot- und Pettit'schen Werten größere Abweichungen bestehen.

Die wahre Form dieser „Banden" läßt sich aus den vorliegenden Untersuchungen nicht erkennen; durch das Arbeiten mit endlicher Spaltbreite werden ja Feinheiten verwischt (vergl. S. 16) und nur ein geglätteter Kurvenverlauf geliefert. Nach Überlegungen Herzings kann man zwar gewisse Rückschlüsse aus der Form der Registrierung auf die wahre Gestalt der gemessenen Bande ziehen; exakt gelingt dies nur bei einer Optik, die keine Streuung aufweist, was jedoch in der Praxis nur in gewisser Annäherung erreicht werden kann. Da auch der zu den vorliegenden Untersuchungen benutzte Monochromator diese Streueffekte zeigte, wurde von einer Auswertung in dieser Hinsicht Abstand genommen.

d) Ursprung der „Banden".

Der Ursprung der registrierten „Banden" ist unbedingt extraterrestrisch, ist also in der Sonne selbst zu suchen. Bekanntlich nimmt man an, daß die Sonnenphotosphäre ein kontinuierliches Spektrum aussendet, und daß inerhalb der Sonnenumgebung, der Chromosphäre oder Umkehrschicht, eine selektive Absorption stattfindet. Für die Erklärung unserer verhältnismäßig breiten Unregelmäßigkeiten bestehen theoretisch zwei Möglichkeiten: es handelt sich entweder um wirkliche Absorptionsbanden, die also durch Absorption an Molekülen zustande kommen, oder um eine Ansammlung sehr zahlreicher, voneinander unabhängiger Linien, wie sie bei der Absorption an Atomen auftreten. Eine Entscheidung dieser Frage ist auf Grund der Registrierungen allein nicht möglich. Es müssen deshalb andere Überlegungen zu Hilfe genommen werden.

Da wir in den Fraunhofer'schen Linien ein System zahlreicher Einzellinien kennen, ist es naheliegend, die zweitgenannte Möglich-

keit als erste ins Auge zu fassen. Lage und relative Energie der Fraunhoferlinien wurde bereits von Rowland (1896) mitgeteilt; die derzeit zuverlässigsten Angaben finden sich in "Revision of Rowlands preliminary table of solar spektrum wawe-lengths ..." von St. John, Moore, Ware, Adams und Babcock (8). Es liegt nun der Gedanke nahe, bei Kenntnis von Zahl und relativer Energie der Fraunhoferlinien deren Einfluß auf ein kontinuierliches Spektrum zu berechnen. Dies wurde auch bereits von G. F. W. Mulders (5) ausgeführt. Zur Vereinfachung seiner Berechnungen führte er an Stelle der relativen Intensitätsangaben von Rowland die „aequivalente Breite" der Linien ein, die er folgendermaßen definierte und ermittelte: er setzte die von einer Linie absorbierte Energie E_A in Beziehung zu der an der gleichen (bezw. dicht benachbarten) Stelle über eine Breite von 1 Å ausgesandten Energie E_E und nannte den Quotienten E_A/E_E die aequivalente Breite der betreffenden Linie. Mit anderen Worten gibt diese Größe an, wie breit die betreffende Linie sein müßte im Verhältnis zum Bereich von 1Å an dieser Stelle, um den Energiebetrag E_A zu absorbieren. Sodann stellte Mulders eine graphische Beziehung auf zwischen den Rowlandschen Intensitätsangaben und den aequivalenten Breiten, sodaß er alle Rowlandschen Angaben durch letztere ersetzen konnte. Nun ist es relativ einfach, bei Kenntnis von Zahl und aequivalenter Breite der Linien innerhalb eines bestimmten Bereiches die Schwächung der kontinuierlichen Strahlung in diesem Gebiet anzugeben: man braucht nämlich nur die Summe aller aequivalenten Breiten zu bilden und durch die Gesamtbreite des betreffenden Bereiches zu dividieren, um sofort den absorbierten Anteil zu erhalten. Dies führte Mulders für das Spektralgebiet von 300 mμ bis 920 mμ durch, indem er die Absorption durch Fraunhoferlinien in Bereichen von jeweils 100Å berechnete. Die folgende Tabelle 1 gibt seine Berechnungen wieder. Es bedeuten hierin: λ_m die Wellenlänge des Schwerpunkts des betrachteten Bereiches, G dessen Grenzen, I_T die Absorption durch alle Fraunhoferlinien, I_Z die Absorption durch die schwächeren Linien (in Rowlandsskala < 20) in Prozenten der ausgesandten Energie. (Wiedergegeben sind nur die uns hier interessierenden Angaben für 350 mμ — 530 mμ).

Mulders legte dann eine nach den Angaben von Fabry, Buisson und Plaskett gefundene Kurve des kontinuierlichen, noch nicht durch Absorption in der Umkehrschicht abgeänderten Emissionsspektrums der Photosphäre zugrunde und berechnete deren Form nach Absorption durch die Fraunhoferlinien. Das Ergebnis stimmte überraschend gut mit den Abbotschen Messungen überein. Darin erblickt Mulders einen Beweis für die Richtigkeit seiner Annahme, die aller-

Tabelle 1.

λm	G (Å)	I_T	I_Z	λm	G (Å)	I_T	I_Z
3500	3447/3549	25	24	4500	4442/4552	12	12
3600	3549/3646	35	30	4600	4552/4655	11	11
3700	3646/3750	38	30	4700	4655/4754	11	11
3800	3750/3852	37	33	4800	4754/4854	6	6
3900	3852/3945	46	27	4900	4854/4961	13	8
4000	3945/4054	35	20	5000	4961/5040	9	9
4100	4054/4155	24	18	5100	5040/5150	9	9
4200	4155/4242	19	18	5200	5150/5236	12	9
4300	4242/4348	23,5	19	5300	5236/5350	8	8
4400	4348/4442	14	14				

dings bereits von Abbot (3) ausgesprochen worden war, daß nämlich die Abweichungen vom kontinuierlichen Verlauf im betrachteten kurzwelligen Spektralbereich lediglich auf die Einwirkung der Fraunhoferschen Linien zurückzuführen seien. Nach seinen Berechnungen bedingt die verhältnismäßig gleichförmige Verteilung der schwachen Linien, deren Rowlandstärke weniger als 20 beträgt, eine ziemlich gleichmäßige Schwächung des kontinuierlichen Verlaufes; eine Anhäufung von starken Linien soll dagegen eine mehr oder weniger große Abweichung vom kontinuierlichen Verlauf hervorrufen, wie sie in den vorliegenden Untersuchungen ebenfalls festgestellt wurde.

Zur Nachprüfung der Richtigkeit der Mulderschen Annahme wurde folgendes an den vorliegenden Registrierungen vorgenommen: Über die experimentell ermittelte Energieverteilung wurde eine Schmiegungskurve gezogen, die nach dem oben gesagten den Einfluß der starken Linien nicht mehr enthalten soll. Diese Schmiegungskurve wurde nun dadurch, daß sie in den verschiedenen Bereichen um die von Mulders in Tab. 1 angegebene prozentuale Schwächung I_Z (durch die schwachen Linien) erhöht wurde, in die wirkliche Kurve des kontinuierlichen von der Photosphäre ausgesandten Spektrums übergeführt. Wie aus Abb. 11 (S. 26) hervorgeht, ergab sich auf diese Weise tatsächlich eine glatte Kurve, wie sie dem Strahler eines Kontinuums entspricht. Diese Tatsache spricht jedenfalls dafür, daß die gleichförmige Schwächung, die die wahre Emissionskurve in die Schmiegungskurve überführt, lediglich eine Folge der Absorption durch die schwachen Fraunhoferlinien darstellt. Ob nun die durch die Schmiegungskurve ausgeglichenen starken Unregelmäßigkeiten ebenfalls nur eine Folge der starken Fraunhoferlinien sind, kann auf diese Weise nicht festgestellt werden. Es wurde zur Beantwortung dieser Frage

deshalb ein anderer Weg eingeschlagen. Durch Planimetrieren wurde für die in Tab. 1 angegebenen Bereiche die Gesamtenergie J_G der kontinuierlichen Strahlung (als Flächenstück zwischen Abszissenachse, den beiden Ordinaten und der oben ermittelten wahren Emissionskurve) so wie die absorbierte Energie J_A (als Flächenstück zwischen wahrer Emissionskurve, experimenteller Kurve und den beiden Ordinaten) ermittelt. Dann stellt (J_A / J_G) 100 den Prozentsatz der Absorption im betrachteten Bereich dar. Tab. 2 und Abb. 12 (S. 28) zeigen den Vergleich der so erhaltenen Werte mit den von Mulders angegebenen.

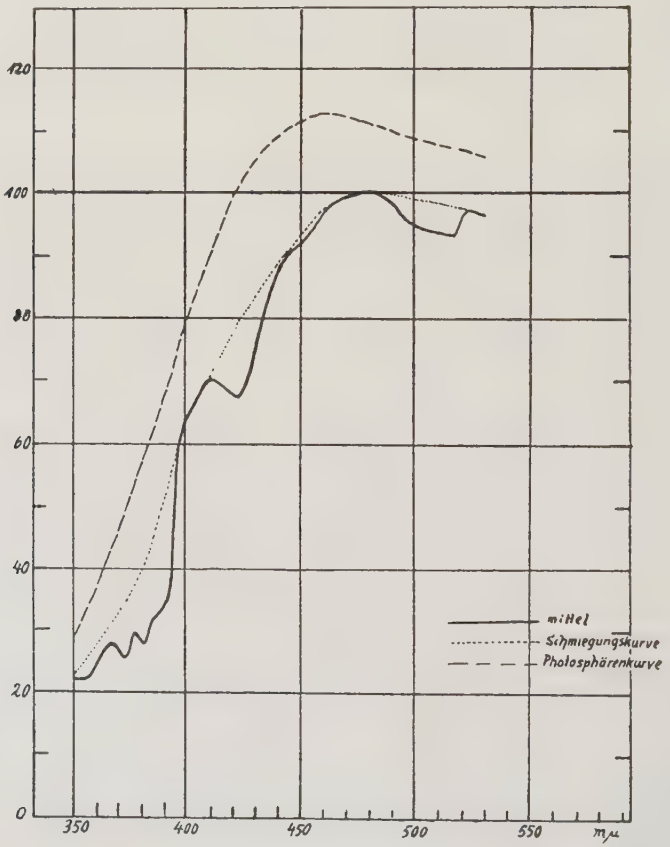

Abb. 11. Experimentelle extraterrestrische Energieverteilung, Schmiegungskurve, Emission der Photosphäre.

Tabelle 2.

Bereich	H.%	M.%	Bereich	H.%	M.%
3500/3549 Å	30,0	25.0	4348/4442 Å	22,6	14,0
3549/3646	30,6	35,0	4442/4552	17,0	12,0
3646/3750	42,0	38,0	4552/4655	13,9	11,0
3750/3852	51,2	37,0	4655/4754	11,2	11,0
3852/3945	49,2	46,0	4754/4854	10,5	6,0
3945/4054	30,0	35,0	4854/4961	11,9	13,0
4054/4155	22,5	24,0	4961/5040	13,0	9,0
4155/4242	31,8	19,0	5040/5150	13,3	9,0
4242/4348	30,5	23,5	5150/5236	9,6	12,0

Abgesehen von den Bereichen um 380 mμ und 420 mμ kann man die Übereinstimmung als befriedigend ansehen, wenn man berücksichtigt, daß sowohl bei Mulders als auch bei den vorliegenden Untersuchungen die Meßgenauigkeit nur etwa 5% betragen kann. In der Abb. 12 (S. 28) sind ebenfalls die Fraunhoferlinien mit einer Stärke über 15 (Rowlandskala) eingezeichnet. Wie man erkennt, fallen die Bereiche hoher Absorption mit einer Anhäufung starker Linien zusammen. Es zeigt sich dabei, daß die Menge solcher Linien mittlerer Stärke ausschlaggebender erscheint als das Auftreten extrem starker Linien (z. B. von Ca+ 393,4 mμ und 396,8 mμ).

Die größeren Abweichungen in den beiden oben genannten Gebieten um 380 mμ und 420 mμ weisen jedoch darauf hin, daß außer der Absorption durch Fraunhoferlinien noch ein anderer Effekt die beobachteten Unregelmäßigkeiten bedingt. Letzteren Effekt müssen wir in der auf S. 23 genannten zweiten Möglichkeit sehen, daß nämlich die Absorption der kontinuierlichen Photosphärenstrahlung auf wirklichen Banden beruht, daß also als Absorber Moleküle anzunehmen sind. Auch hier müssen wir annehmen, daß es sich um einen extraterrestrischen Effekt handelt, da ja die Absorptionsbanden gerade in der extraterrestrischen Kurve am stärksten zum Ausdruck kommen, während sie bei tiefem Sonnenstande fast kaum mehr zu erkennen sind. In der Sonnenchromosphäre sind die Radikale OH, NH, CH, CN nachgewiesen. Von den genannten Restgruppen zeigt das Cyan-Radikal CN seine beiden stärksten Banden an den Stellen 375,2 mμ—388,3 mμ und 417,9 mμ—421,6 mμ, also gerade an den Gebieten, in denen eine stärkere Absorption vorgefunden wurde, als sich aus den Wirkungen der Fraunhoferlinien allein errechnen ließ; es kann deshalb kein Zweifel darüber bestehen, daß die beobachteten Abweichungen von den Mulders schen Werten allein auf der Wirkung der beiden genannten Cyanbanden beruhen. Die breitere Ausdehnung der registrierten

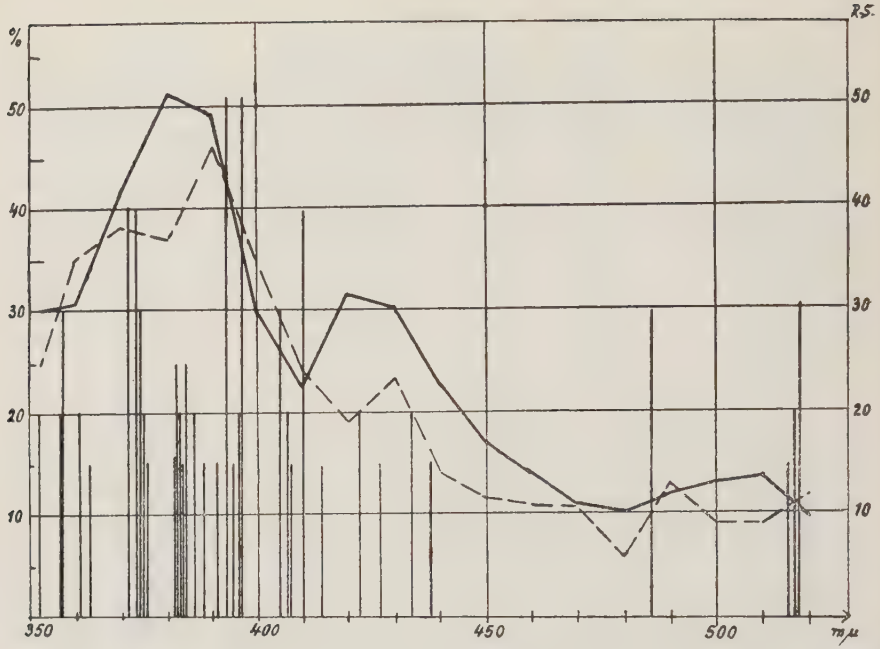

Abb. 12. Fraunhoferlinien > 15 R.Sk. und die prozentuale Absorption (——— nach Heß, — — — — — — nach Mulders)

Einbuchtung von 410 mμ—440 mμ muß auf die zusätzliche Wirkung der CH-Bande, die sich im Bereiche von 420,1 mμ—438,9 mμ befindet, zurückgeführt werden.

Es bliebe endlich noch etwas zu sagen über die Abweichungen zwischen Sommer- und Wintermittel in Abb. 10. Wir müssen die Abweichungen im kurzwelligen Teil getrennt von denen im langwelligeren Bereiche behandeln. Im erstgenannten Gebiet ist nämlich die Möglichkeit eines Auswertungsfehlers bedeutend größer als in letzterem, da die Ausschläge weitaus geringer sind. Immerhin muß man berücksichtigen, daß es sich bei der Darstellung um Mittelwerte handelt, bei denen die Meßfehler sich weitgehend ausgleichen müssen. Man ist deshalb in gewissem Maße berechtigt, anzunehmen, daß es sich im vorliegenden Falle um tatsächliche Schwankungen der Sonnenstrahlung handelt, wie sie auch bereits von anderen Autoren festgestellt wurden. Sitz und Ursache dieser Schwankungen müssen in der Sonne selbst gesucht werden, da die vorliegenden Kurven ja extraterrestrischer Natur sind, bei denen also der Einfluß unserer Atmosphäre durch

Extrapolation ausgeschaltet wurde. Pettit hat auch bereits einen Jahresgang der UV-Strahlung nachgewiesen; nach der Feststellung Bernheimers, daß sich ein übereinstimmender jährlicher Gang ergibt zwischen den UV-Schwankungen Pettits und den Transmissionskoeffizienten, wurde die Pettitsche Beobachtung auf Schwankungen im Trübungszustande der Erdatmosphäre zurückgeführt. Die in den vorliegenden Untersuchungen angewandte Methodik ist geeignet, diese Frage zu klären, da, wie bereits erwähnt, jeglicher atmosphärischer Einfluß dadurch ausgeschaltet wird, daß bei Benutzung der Gleichung (1a), die der Extrapolation zugrunde liegt, der zweite Summand, der allein den atmosphärischen Anteil im Faktor q_M enthält, gleich O gesetzt wird (M = O). Leider ist die Zahl der vorliegenden Registrierungen noch zu gering, um bereits in dieser Untersuchung die Frage der Realität der beobachteten Schwankungen zu entscheiden. Wenn dies aber der Fall ist, kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die Schwankungen der UV-Strahlung in der Sonne selbst zu suchen sind.

Wenn man die gute Übereinstimmung der Sommer- und Winterkurve im Gebiete von 390 mμ—490 mμ berücksichtigt, und ferner bedenkt, daß die Auswertungsgenauigkeit mit längeren Wellen zunimmt, muß man zur Annahme kommen, daß die Schwankungen im Gebiet von 490 mμ—520 mμ reell sind. Ob auch hier ein jahreszeitlicher Gang vorliegt, oder ob ein anderer Rhythmus zu Tage tritt, läßt sich wegen der zu geringen Zahl von Beobachtungen zu den verschiedensten Tages- und Jahreszeiten im Rahmen dieser Untersuchung ebensowenig entscheiden.

Trotz dieser Einschränkungen kann man sagen, daß die vorliegende Untersuchung einen weiteren Beitrag liefert zur Klärung der Frage nach der grundsätzlichen Form des Sonnenspektrums im Gebiet von 350 mμ—530 mμ. Ebenso erscheint die Herkunft der Abweichungen vom kontinuierlichen Kurvenverlauf weitgehend geklärt. Vielleicht erlangen diese Untersuchungen dadurch auch eine praktische Bedeutung, daß nach Feststellungen I. Haußers u. a. gerade das Gebiet zwischen 300 mμ und 400 mμ bei hinreichend großen Intensitäten Pigmentierung ohne Erythembildung bewirkt und somit für die Therapie mit natürlicher Bestrahlung eine gewisse Bedeutung gewinnt.

Zusammenfassung.

1. Es wird der grundsätzliche Weg gewiesen, der zur Ermittlung der extraterrestrischen Energieverteilungskurve des Sonnenspektrums führt; sodann werden die Untersuchungen und Ergebnisse Abbots und Pettits in den Spektralbereichen von 350 mμ—530 mμ dargelegt.
2. Bau und Wirkungsweise des Leißschen Quarzdoppelmonochromators werden beschrieben, mit dem die vorliegenden Untersuchungen im Gebiet von 350 mμ—530 mμ durchgeführt wurden. Die Ermittlung der notwendigen Korrektions- und Reduktionsfaktoren, die an den Registrierungen angebracht werden müssen, wird gezeigt.
3. Die durch Extrapolation erhaltene extraterrestrische Energieverteilungskurve zeigt, daß im betrachteten Spektralbereich bandenförmige Abweichungen vom kontinuierlichen Kurvenverlauf auftreten, die folglich solaren Ursprungs sind. Stärkere Banden liegen bei 381 mμ und 423 mμ (bereits von Abbot und Pettit nachgewiesen), schwächere bei 356 mμ, 373 mμ und 391 mμ; Schwankungen der Tiefe zeigt eine Bande bei 516 mμ. Ein Vergleich mit den Abbot- und Pettitschen Kurven ergibt größere Unterschiede in UV.
4. Die Ursache der kleineren Abweichungen bei 356 mμ, 373 mμ, 391 mμ (516 mμ?) ist in der Anhäufung von stärkeren Fraunhoferlinien zu erblicken, während für die Banden bei 381 mμ und 423 mμ noch eine zusätzliche Wirkung der Cyan-Banden (375,2—388,3 mμ, 417,9—421,6 mμ) und der CH-Bande (bei 420,1—438,9 mμ) verantwortlich zu machen ist. Dies wird durch einen Vergleich der Mulderschen Angaben über die Absorption durch Fraunhoferlinien bestätigt.

Zum Abschluß der vorliegenden Untersuchungen ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. F. Linke für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für sein stetes Interesse an der Fortführung derselben aufrichtig zu danken. Mein Dank gilt ferner allen, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen, in erster Linie Herrn Mechanikermeister W. Weine. Nicht zuletzt danke ich auch der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für die bereitwillige Überlassung des benutzten Quarzdoppelmonochromators.

Literatur.

1. Annals of the Astrophysical Observatory, Washington, Vol. I—V.
2. Abbot, C. G., Fowle, F. E., Aldrich, L. B., The Distribution of Energie in the Spektra of Sun ans Stars. Smith. Miscell. Collections 74, Nr. 7 (1923).
3. Abbot, C. G., Smithonian Solar Radiation Researches. Gerl. Beitr. z. Geophysik, Bd. 16, 1927.
4. Herzing, Fr., Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre aus Registrierungen des Sonnenspektrums. Gerl. Beitr. z. Geoph., Bd. 49, 1937.
5. Mulders, G. F. W., Aequivalente Breedten van Fraunhoferlijnen in het Zonnespektrum. Dissertation Nijmegen 1934.
6. Penndorf, R., Beiträge zum Ozonproblem. Veröff. des Geophysik. Inst. d. Univ. Leipzig, Bd. 8, Heft 4.
7. Pettit, E., Measurements of Ultra Violet Solar Radiation. Astrophys. Journal, Bd. 75, 1932.
8. Revision of Rowlands Preliminary Table of Solar Spektrum wawe-lengths, by St. John, Ch. E. Moore, L. W. Ware, E. F. Adams, H. D. Babcock. Washington 1928.
9. Krefft, H., Rößler, F., Rüttenauer, A., Ein neues Strahlungsnormal. Zeitschr. f. techn. Physik, 18. Jahrg., Heft 1, 1937.
10. Meteorologisches Taschenbuch, Teil II, 1933.

Lebenslauf.

Als Sohn des damaligen Oberzollsekretärs Adolf Heß wurde ich am 12. August 1911 zu Metz (Lothr.) geboren. Von 1917 bis 1919 besuchte ich die Volksschule zu St. Avold (Lothr.), von 1919 bis 1921 die Vorschule des Staats. Ludwigsgymnasiums zu Saarbrücken, von Ostern 1921 bis Ostern 1930 die gymnasiale Richtung dieser Anstalt, an der ich zu Ostern 1930 die Reifeprüfung bestand.

Anschließend wandte ich mich dem allgemeinen Studium der Naturwissenschaften zu, und besuchte die Universitäten Heidelberg, München und Bonn. Im Sommer des Jahres 1936 bestand ich in Bonn das philologische Staatsexamen in den Fächern Physik, Biologie und Mathematik.

Nach einem halben Jahre praktischer Tätigkeit an der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Trier wandte ich mich in Frankfurt a. M. dem speziellen Studium der Meteorologie und Geophysik zu.

Meine akademischen Lehrer waren:
in den physikalischen Fächern: die Herren Baur, Becker, Gerlach, Grebe, Konen, Lenard, Linke, Mügge, Pflüger, Rajewsky,
in den biologischen Fächern: die Herren Fitting, Heidermanns, Jost, Reichensperger, Wurmbach, Laibach.
in Mathematik: Beck, Rehbock, Weiß.

Lebenslauf.

Als Sohn des damaligen Oberzollsekretärs Adolf Heß wurde ich am 12. August 1911 zu Metz (Lothr.) geboren. Von 1917 bis 1919 besuchte ich die Volksschule zu St. Avold (Lothr.), von 1919 bis 1921 die Vorschule des Staats. Ludwigsgymnasiums zu Saarbrücken, von Ostern 1921 bis Ostern 1930 die gymnasiale Richtung dieser Anstalt, an der ich zu Ostern 1930 die Reifeprüfung bestand.

Anschließend wandte ich mich dem allgemeinen Studium der Naturwissenschaften zu, und besuchte die Universitäten Heidelberg, München und Bonn. Im Sommer des Jahres 1936 bestand ich in Bonn das philologische Staatsexamen in den Fächern Physik, Biologie und Mathematik.

Nach einem halben Jahre praktischer Tätigkeit an der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Trier wandte ich mich in Frankfurt a. M. dem speziellen Studium der Meteorologie und Geophysik zu.

Meine akademischen Lehrer waren:
in den physikalischen Fächern: die Herren Baur, Becker, Gerlach, Grebe, Konen, Lenard, Linke, Mügge, Pflüger, Rajewsky,
in den biologischen Fächern: die Herren Fitting, Heidermanns, Jost, Reichensperger, Wurmbach, Laibach.
in Mathematik: Beck, Rehbock, Weiß.